

*Materia orgánica del suelo:*

*metodología para su análisis y su incidencia en el medio ambiente y el cambio climático*

*IRNAS, Sevilla, 16 octubre 2017*

# El suelo y la materia orgánica en la provisión de servicios ecosistémicos

**Teodoro Marañón**

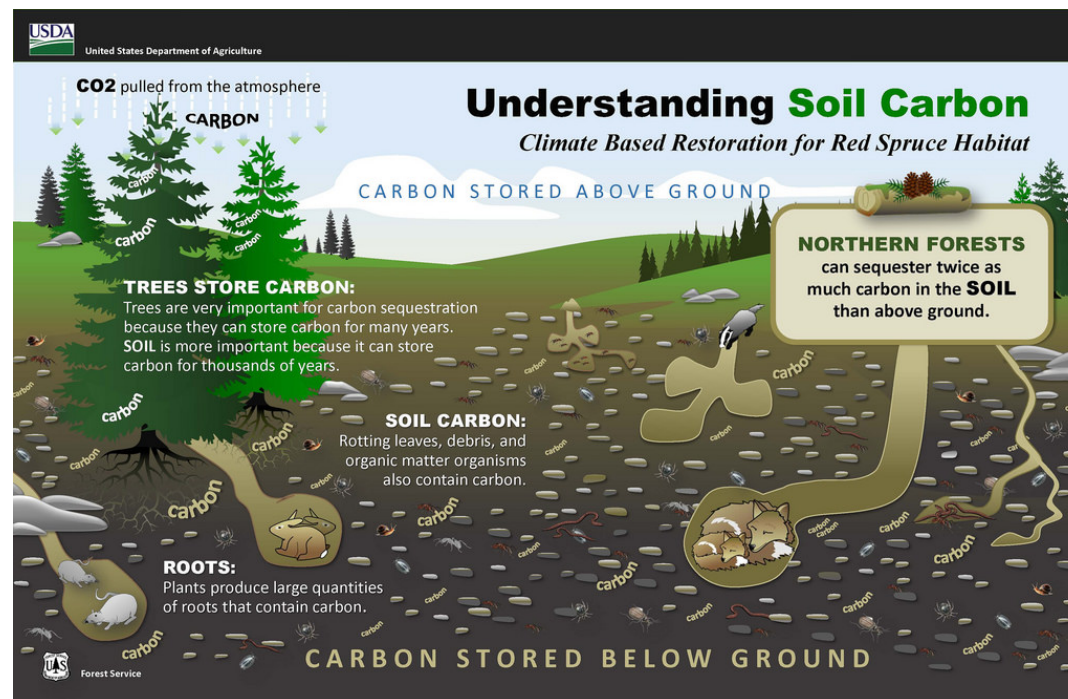
*teodoro@irnase.csic.es*

IRNAS, CSIC, Sevilla



**CSIC**

1. Introducción a los Servicios Ecosistémicos
2. Bosques como sumideros de carbono
3. Valoración de los suelos y sus servicios



# 1. Introducción a los Servicios Ecosistémicos

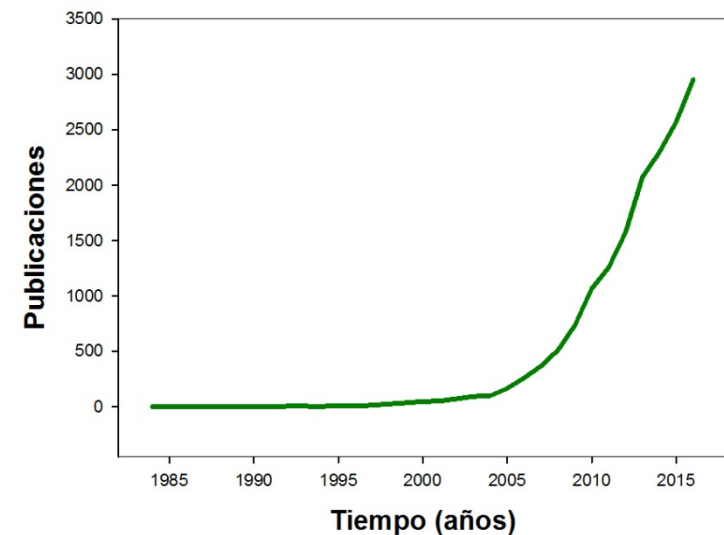
**Definición:** *Las contribuciones directas e indirectas de los ecosistemas al bienestar humano*

## Importancia en la investigación

Desde 2005 han aumentado exponencialmente las publicaciones científicas sobre “servicios ecosistémicos”.

18.853 publicaciones en SCOPUS (09/10/2017)  
Casi 3.000 (2.954) en 2016

Nueva revista de Elsevier en 2012:  
***Ecosystem Services***



## Importancia en la política y gestión de recursos

Un mandato europeo: Evaluar los Servicios Ecosistémicos

***Estrategia de la UE sobre la biodiversidad hasta 2020: nuestro seguro de vida y capital natural (2011)***

**OBJETIVO 2: MANTENIMIENTO Y RESTAURACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS Y SUS SERVICIOS**

**Actuación 5: Mejorar el conocimiento de los ecosistemas y los servicios ecosistémicos en la UE**

*Los Estados miembros, con asistencia de la Comisión, cartografiarán y evaluarán el estado de los ecosistemas y sus servicios en sus respectivos territorios no más tarde de 2014, calcularán el valor económico de dichos servicios y promoverán la integración de ese valor en los sistemas de contabilidad e información a nivel nacional y europeo no más tarde de 2020.*

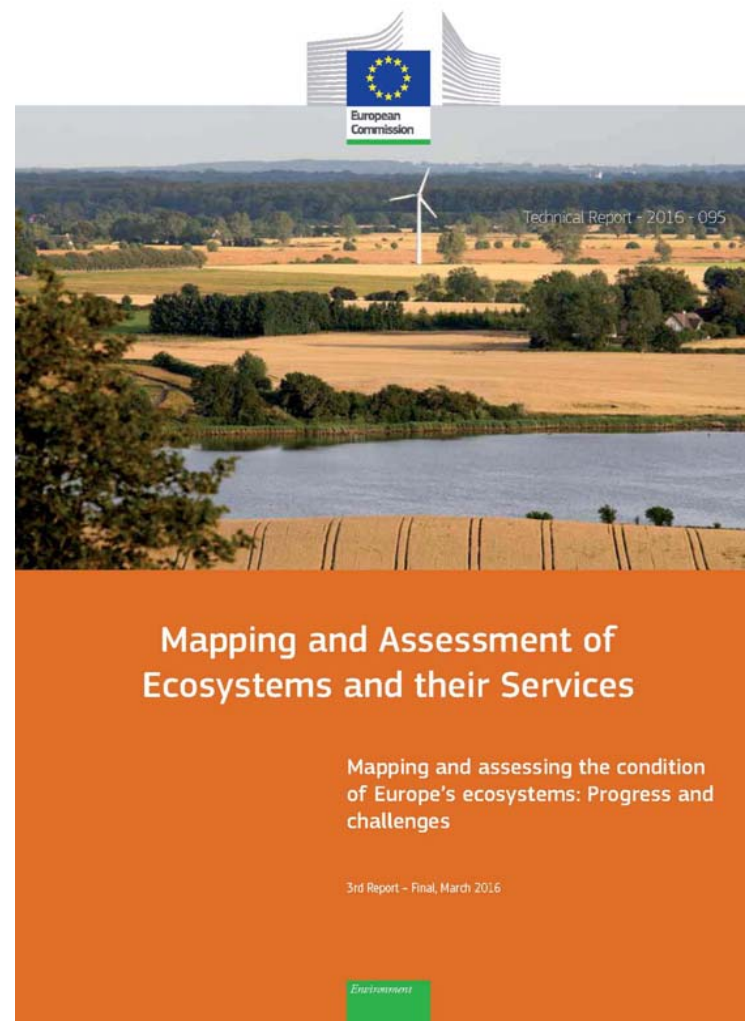
*Materia orgánica del suelo*  
*Sevilla, 16 octubre 2017*

Grupo de Trabajo sobre  
**Cartografía y Evaluación de  
Ecosistemas y sus Servicios**

*Mapping and Assessment on  
Ecosystems and their Services  
(MAES)*

Documentos:

- 1) Marco analítico – abril 2013
- 2) Indicadores – febrero 2014
- 3) Condiciones de los ecosistemas  
– marzo 2016



<http://biodiversity.europa.eu/maes>

## ¿Cómo nace el concepto?

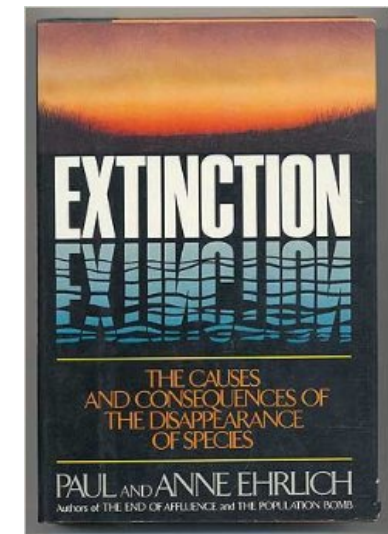
### Ecología y sociedad (1960-1980)

El entomólogo americano Paul Ehrlich acuñó en 1981 el término “servicios ecosistémicos” en su libro *Extinction: the causes and consequences of the disappearance of species*.

(Premio BBVA Fronteras del conocimiento 2014)

*“La pérdida de los servicios para la humanidad que son consecuencias de las extinciones pueden ser desde triviales a catastróficas, dependiendo del número de elementos que desaparecen y del grado de control que cada uno ejerce sobre el sistema.”*

*Ehrlich y Mooney (1983), Extinction, substitution, and ecosystem services. BioScience, 33: 248-254.*





## Ecología y economía (1990-2000)

El economista americano Robert Costanza, con 12 coautores publican en *Nature* (1997) un artículo en el que valoran el “Capital Natural” del planeta y los servicios ecosistémicos.



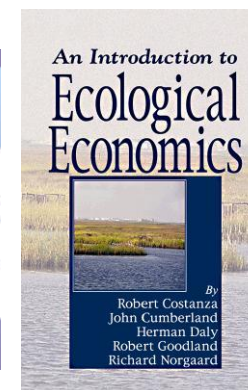
*“Los servicios ecosistémicos y el capital natural que los produce ... representan parte del valor económico total del planeta.*

*Los servicios de la biosfera se estiman en  $33 \times 10^{12}$  dólares/año, mientras que el PIB total es de  $18 \times 10^{12}$  dólares/año.”*

*Costanza et al. 1997, Nature 387: 253-260.*



*Desde 1989*



**Actualizado en 2014: *Global Environmental Change* 26: 152–158**

## **Auditoría mundial (2001-2005)**

Naciones Unidas: Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM). Un Panel de más de 1300 científicos y expertos de 95 países realizaron la “primera auditoría comprehensiva del estado del capital natural de la Tierra”.

*“Examinando el ambiente a través del marco de los servicios de los ecosistemas se hace mucho más fácil identificar cómo los cambios en los ecosistemas influyen sobre el bienestar humano, y proporcionar información que los responsables de tomar decisiones puedan sopesar junto con otras informaciones sociales y económicas.”*

<http://www.maweb.org/es/>



Página web y documentos en 6 idiomas



## Auditoría mundial (2001-2005)

Sistematización de los tipos de servicios y de los componentes del bienestar.

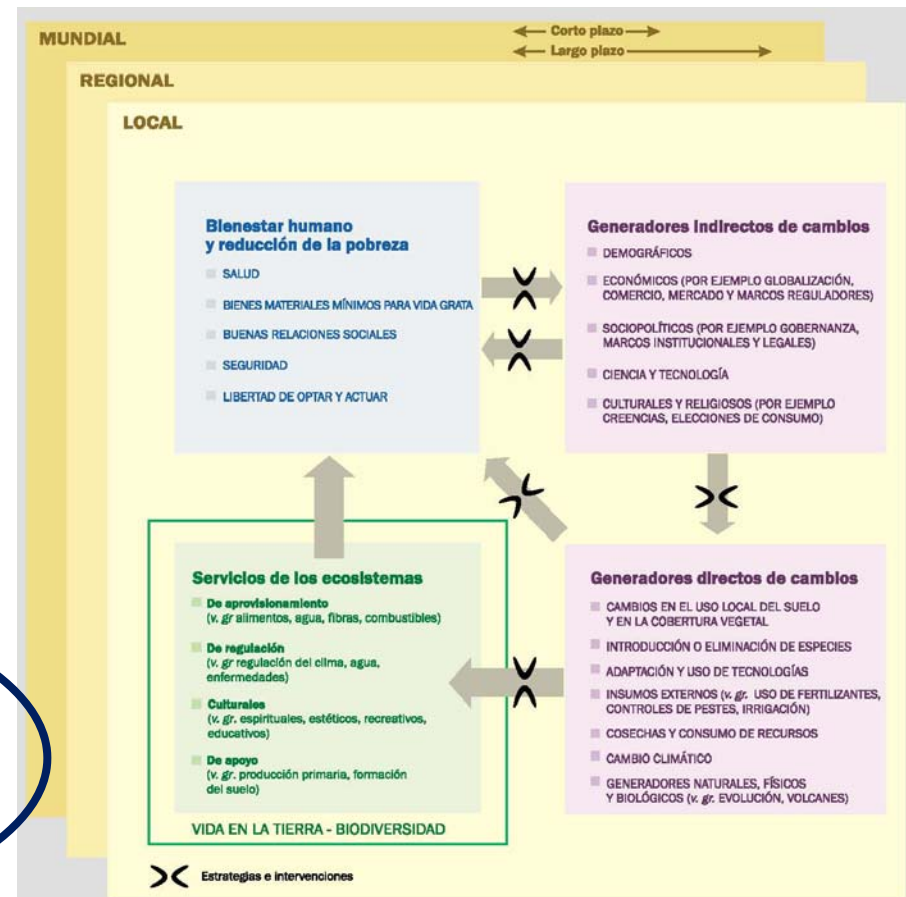
*“A escala local y nacional, existe información relativamente limitada acerca del estado de muchos servicios de los ecosistemas y aún menos información acerca del valor económico de los servicios no comercializados.”*



## Auditoría mundial (2001-2005)

Identificar los factores directos e indirectos que provocan los cambios en los ecosistemas y los servicios que éstos prestan.

*“La actividad humana está ejerciendo una presión tal sobre las funciones naturales de la Tierra que ya no puede darse por seguro que los ecosistemas del planeta vayan a mantener la capacidad de sustentar a las generaciones futuras.”*



## **Auditoría nacional (2009-2011)**

### Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Aplicación en España

#### Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España

Financiado por la Fundación Biodiversidad

Preparado por 60 expertos de 20 centros, en el  
periodo 2009-2011.

El documento de síntesis (305 págs.) se puede  
descargar en:

[www.ecomilenio.es](http://www.ecomilenio.es)



### **Ecosistemas y biodiversidad para el bienestar humano**

Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España

Síntesis de resultados



## Auditoría nacional 2009-2011: diversas reacciones

The image is a screenshot of the 'epsocial' website, dated 'Domingo, 16 de octubre 2011'. The header includes the 'epsocial' logo, an IKEA advertisement with the text 'Así de atractivo se ve tu dormitorio cuando duermes...' and a price of '€44,99', and a LYCKOAX advertisement for a 'funda nórdica y 2 fundas almohada'. The navigation bar lists categories: POLÍTICA SOCIAL, RSC, ONG Y ASOCIACIONES, etc. A sidebar on the left contains a list of topics like 'Naturales', 'Familia', 'Mayores', etc. The main content area features a headline: **'ECOSISTEMAS Y BIODIVERSIDAD PARA EL BIENESTAR HUMANO'** followed by **El 45% de los servicios de los ecosistemas está degradado, especialmente los acuáticos, según un estudio**. Below this is a photo of a panel discussion with the caption 'Foto: EUROPA PRESS' and a sub-headline 'la secretaria de Estado de Cambio Climático'. To the right is an advertisement for 'B Sabadell'. Below the main article is a section from 'ABC.es' titled '¿Será Rubalcaba la solución para España?' with 'Si' and 'No' buttons. Further down, under the 'SOCIEDAD' section, is another headline: **Hay capital natural suficiente para asegurar el bienestar de las generaciones futuras**. Below this headline is a paragraph starting with '► Siempre que se hagan los necesarios cambios estructurales y mentales, apunta el proyecto «Evaluación de los Ecosistemas de España», coordinado por la Fundación Biodiversidad'. At the bottom right, there is an advertisement for 'ING DIRECT' and a button that says 'cuenta NÓMINA'.

epsocial  
Domingo, 16 de octubre 2011

Así de atractivo se ve tu dormitorio cuando duermes...  
€44,99

LYCKOAX  
funda nórdica y 2 fundas almohada

POLÍTICA SOCIAL | RSC | ONG Y ASOCIACIONES | ...

ACTUALIDAD | **EP Social**

Naturales  
Familia  
Mayores  
Menores  
Igualdad  
Inmigración  
Discapacidad  
Cooperación y Desarrollo  
Derechos Humanos  
Dependencia

AGENDA

menajeros de la paz  
ESTE ES EL NUEVO MAPA DE LA POBREZA

**'ECOSISTEMAS Y BIODIVERSIDAD PARA EL BIENESTAR HUMANO'**  
**El 45% de los servicios de los ecosistemas está degradado, especialmente los acuáticos, según un estudio**

Directorio  
- Estado de los Ecosistemas Climático Ministerio Medio Ambiente Medio Rural y Marino Teresa Ribera  
- Evaluación Ecosistemas Milenio España - Fundación Biodiversidad  
- CaixaForum Madrid

Foto: EUROPA PRESS

la secretaria de Estado de Cambio Climático Medio Rural y Marino (MARM) Teresa Ribera

ABC.es | SOCIEDAD

Ir a abcde Sevilla.es

ACTUALIDAD | OPINIÓN | DEPORTES | CULTURA | GENTE/ESTILO | TV | MULTIMEDIA | BLOGS | SALUD | HEMEROTECA | SERVICIOS

España | Internacional | Economía | **Sociedad** | Madrid | Local | Ciencia | Tecnología | Medios y Redes | Motor

Buscar

**¿Será Rubalcaba la solución para España?**  
Vota y gana regalos APPLE

Si No

LIGA BBVA

Sigue en directo el partido entre el Levante y el Málaga

SOCIEDAD

**Hay capital natural suficiente para asegurar el bienestar de las generaciones futuras**

► Siempre que se hagan los necesarios cambios estructurales y mentales, apunta el proyecto «Evaluación de los Ecosistemas de España», coordinado por la Fundación Biodiversidad Autónoma de Madrid

ING DIRECT

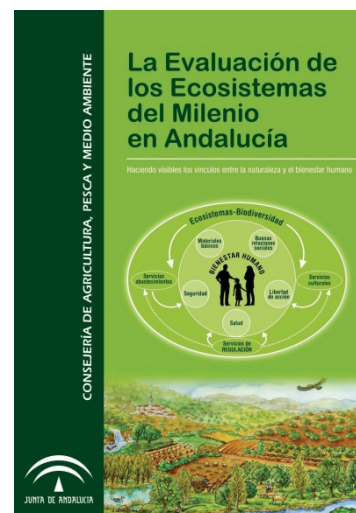
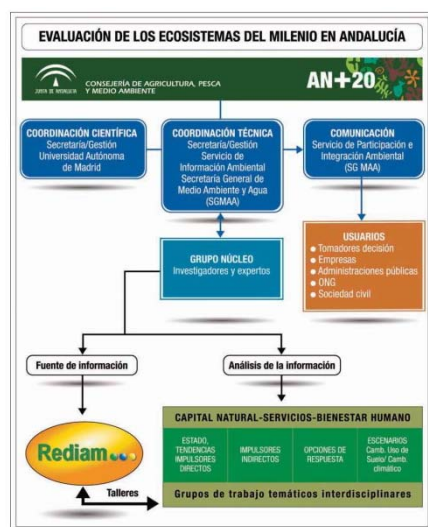
cuenta NÓMINA

## Auditoría regional (2010-2012)

### Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en Andalucía

Panel de 24 expertos agrupados en 9 equipos de trabajo coordinados por Carlos Montes (UAM) y Rosario García Mora (REDIAM).

Se evaluaron los estados y tendencias de 17 tipos operativos de ecosistemas (TOE).



Informe final (184 págs.)  
disponible en internet

[http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal\\_web/web/temas\\_ambientales/biodiversidad/capital\\_natural/resultados/ecosistemas\\_milenio\\_andalucia.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/temas_ambientales/biodiversidad/capital_natural/resultados/ecosistemas_milenio_andalucia.pdf)

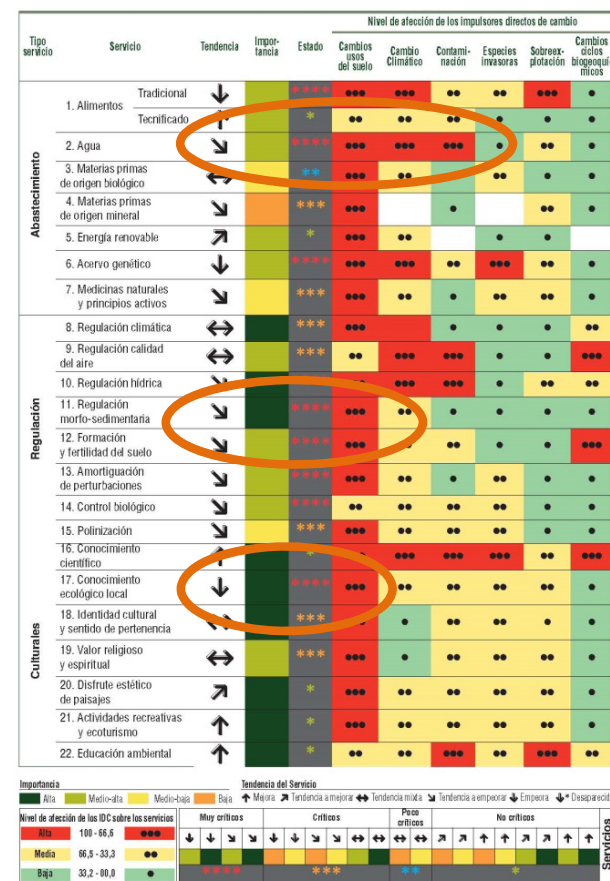


## Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en Andalucía

Importancia y tendencias de 22 ecoservicios a nivel regional.

Prioridad en la gestión de los servicios críticos, que son importantes y muestran tendencias negativas.

- ✓ Provisión de agua dulce. Afectada por el cambio de uso (regadíos), contaminación y cambio climático.
- ✓ Erosión del suelo y desertificación. Afectados por el cambio de uso (tecnificación agraria) y cambio climático (riesgos de incendios).
- ✓ Conocimiento ecológico local. Afectado por el cambio de uso (abandono rural).



## Aproximación económica TEEB (2008-2010)

Naciones Unidas (UNEP) y Comisión Europea: La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad (TEEB). Informe final presentado en la reunión de la CBD en Nagoya 2010.

*“TEEB ofrece un enfoque que puede ayudar a los responsables de la toma de decisiones a reconocer, demostrar y, cuando corresponda, captar los valores de los ecosistemas y la biodiversidad”*

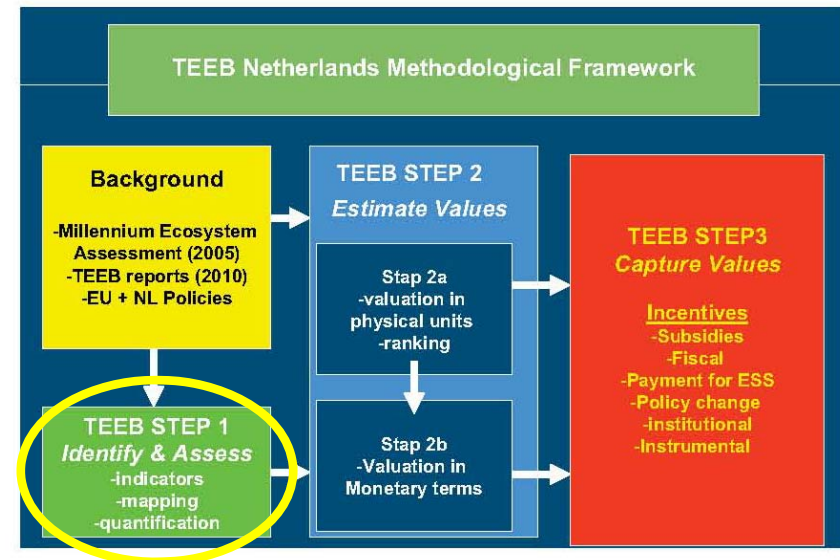
<http://www.teebweb.org/>



## Agenda para aplicar el método TEEB

### Paso 1 – Identificar y evaluar

- ✓ Identificar y evaluar los indicadores
- ✓ Cartografiar los servicios ecosistémicos
- ✓ Cuantificar y modelizar la sinergia y los conflictos entre servicios ecosistémicos.



## Identificar y evaluar los servicios ecosistémicos: Abastecimiento

---

Los **servicios de aprovisionamiento** son servicios ecosistémicos que describen los productos materiales o energéticos procedentes de los ecosistemas. Entre ellos se incluyen los alimentos, el agua y otros recursos.



**Alimentos:** los ecosistemas proporcionan las condiciones necesarias para cultivar alimentos, en hábitats salvajes y en ecosistemas agrícolas gestionados.



**Materias primas:** los ecosistemas proporcionan una gran diversidad de materiales para la construcción y su uso como combustibles.



**Agua dulce:** los ecosistemas proporcionan aguas superficiales y subterráneas.



**Recursos medicinales:** muchas plantas se utilizan como medicamentos tradicionales así como materias primas para el sector farmacéutico.

## Identificar y evaluar los servicios ecosistémicos: Regulación

**Servicios de regulación** son los servicios que los ecosistemas proporcionan al actuar como reguladores; por ejemplo, regulación de la calidad del aire y del suelo o control de las inundaciones y las enfermedades.



**Regulación de la calidad del aire y el clima locales:** los árboles proporcionan sombra y eliminan los contaminantes de la atmósfera. Los bosques influyen sobre las precipitaciones.



**Secuestro y almacenamiento de carbono:** según van creciendo las plantas y los árboles, eliminan dióxido de carbono de la atmósfera, atrapándolo eficazmente dentro de sus tejidos.



**Moderación de los desastres naturales:** los ecosistemas y los organismos vivos crean amortiguadores frente a peligros naturales como inundaciones, tormentas y corrimientos de tierra.



**Tratamiento de las aguas residuales:** los microorganismos del suelo y los humedales descomponen los desechos animales y humanos.



**Prevención de la erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo:** la erosión del suelo es un factor clave en el proceso de degradación y desertificación del terreno.



**Polinización:** unos 87 de los 115 principales cultivos mundiales de alimentos dependen de la polinización animal, incluidas importantes cosechas económicas como el cacao y el café (Klein et al. 2007).



**Control biológico:** los ecosistemas son importantes en la regulación de plagas y enfermedades de transmisión vectorial.



## Identificar y evaluar los servicios ecosistémicos: Culturales

Entre los **servicios culturales** se incluyen los beneficios no materiales que las personas obtienen del contacto con los ecosistemas. Incluyen los beneficios estéticos, espirituales y psicológicos.



**Actividades recreativas y salud mental y física:** cada vez cobra más fuerza el papel que los paisajes naturales y las zonas verdes urbanas desempeñan en el mantenimiento de la salud física y mental.



**Turismo:** el turismo de la naturaleza genera unos considerables beneficios económicos y es una fuente vital de ingresos en muchos países.



**Apreciación estética e inspiración para la cultura, el arte y el diseño:** el lenguaje, el conocimiento y la apreciación del entorno natural son aspectos que han estado íntimamente relacionados durante toda la historia de la humanidad.

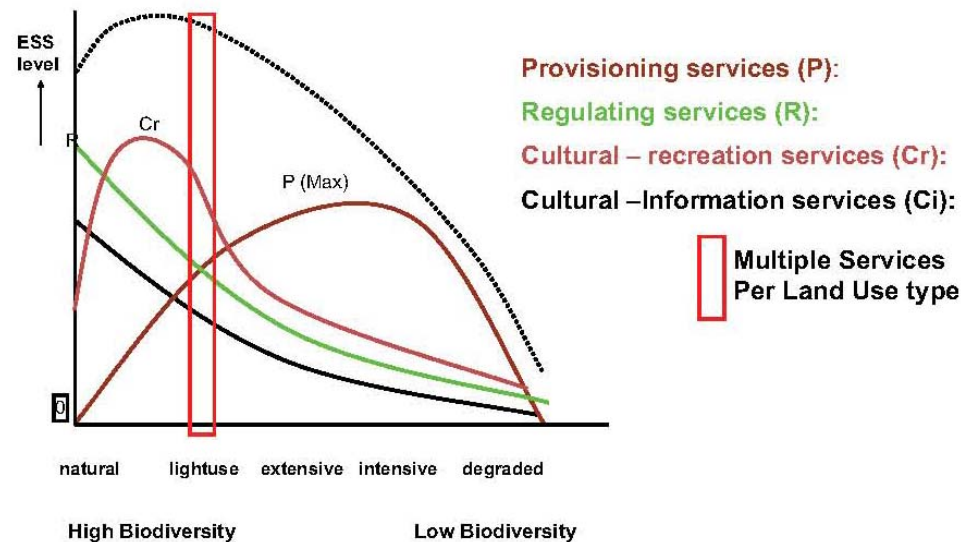


**Experiencia espiritual y sentido de pertenencia:** la naturaleza es un elemento común a muchas religiones; los paisajes naturales también conforman la identidad local y crean un sentimiento de pertenencia a un lugar determinado.

## Agenda para aplicar el método TEEB

### Paso 1 – Identificar y evaluar: servicios múltiples

Relación entre la intensidad en el uso de los recursos y el conflicto entre los diferentes tipos de servicios ecosistémicos



L.C. Braat y R. de Groot, *Ecosystem Services* 1: 4–15 (2012)



## 2. Bosques como sumideros de carbono

### Bosques de Europa como sumidero natural de carbono

- ✓ La biomasa forestal retiene cada año unos 719 Teragramos CO<sub>2</sub>.
- ✓ Representan el 9% de las emisiones netas de gases de efecto invernadero.
- ✓ El suelo forestal es el mayor depósito de carbono.
- ✓ Los bosques contribuyen a frenar los efectos del cambio climático.



**Bosques de Europa – donde vive la biodiversidad**  
La política forestal en Europa se centra principalmente en la biodiversidad. Más de 30 millones de hectáreas de bosques europeos han sido protegidos para conservar la biodiversidad y el paisaje. En los últimos 15 años, la superficie de bosques protegidos en Europa ha aumentado cada año de medio millón de hectáreas. Más del 90 por ciento de los países europeos tienen objetivos específicos relacionados con la biodiversidad.

**Bosques de Europa – el sumidero natural de carbono**  
Cada año, la biomasa forestal europea retiene un promedio de 719 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. Esto representa aproximadamente el 9 por ciento de las emisiones netas de gases de efecto invernadero de Europa. El suelo es el depósito de carbono forestal más grande, seguido de la biomasa, la hojarasca, la biomasa por debajo del suelo y la madera muerta.

**Bosques de Europa: ¡Para el clima!**  
Los bosques abarcan más de un tercio de la superficie terrestre de Europa y la superficie forestal de la región sigue aumentando. Los bosques ordenados de manera sostenible contribuyen a frenar los efectos del cambio climático y a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Los productos forestales proporcionan un recurso natural y renovable neutro en carbono.

**Sumidero:** Entrada > Salida  
**Fuente:** Salida > Entrada

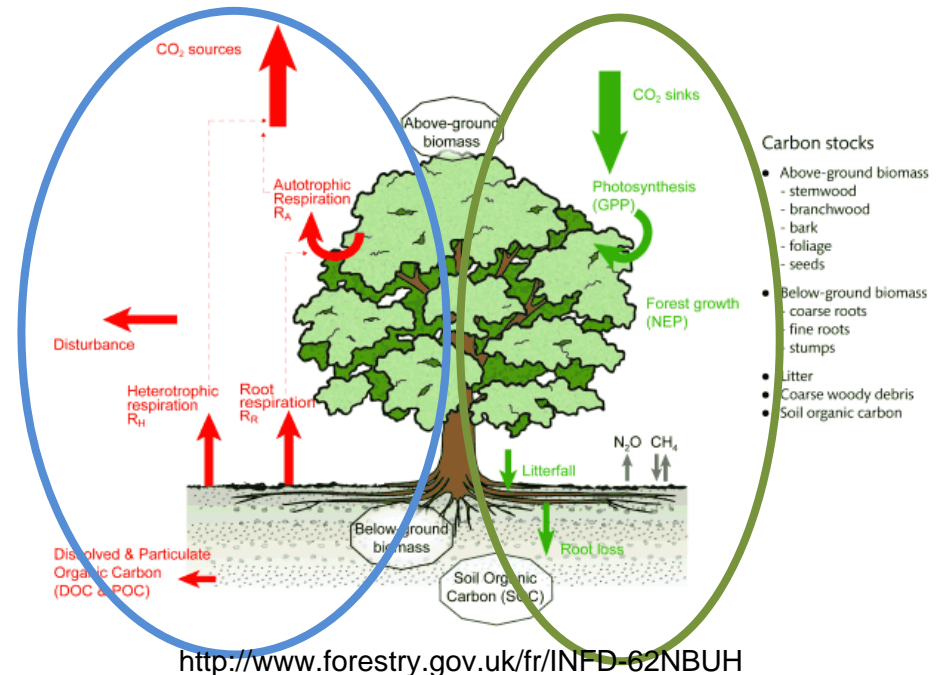
## Flujos de carbono en el bosque

### Entradas

- ✓ Carbono fijado por las plantas en la fotosíntesis; parte se utiliza para el crecimiento y parte se aporta al suelo (hojarasca y raíces).
- ✓ Exudados de las raíces.

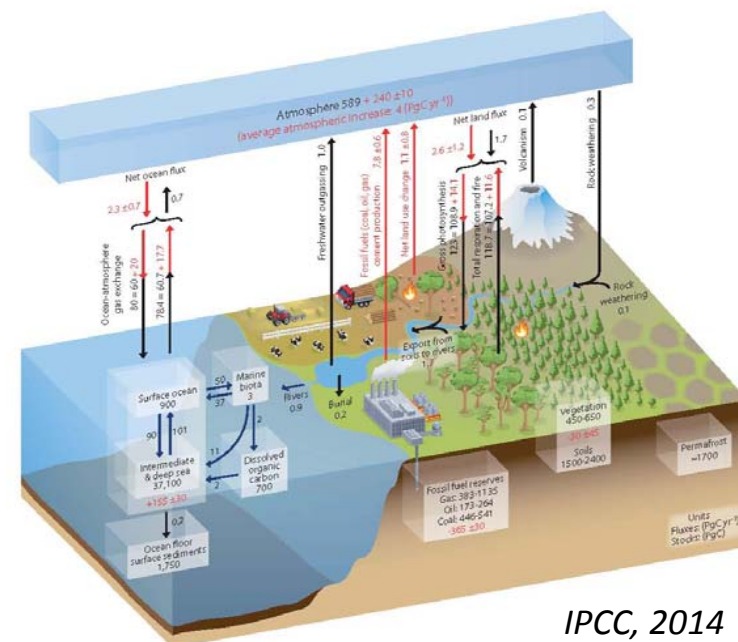
### Salidas

- ✓ Respiración de plantas y suelo (por raíces, simbiontes y heterótrofos).
- ✓ Descomposición de hojarasca y raíces.
- ✓ Pérdida directa por emisión de compuesto volátiles o por incendios.
- ✓ Pérdida por drenaje del carbono orgánico disuelto (DOC).



## Almacenamiento de carbono en bosques

- ✓ Los bosques del mundo almacenan unos 861 Petagramos de C.
  - ✓ 44% en el suelo.
  - ✓ 42% en la biomasa.
  - ✓ 8 % en madera muerta.
  - ✓ 5% en hojarasca.



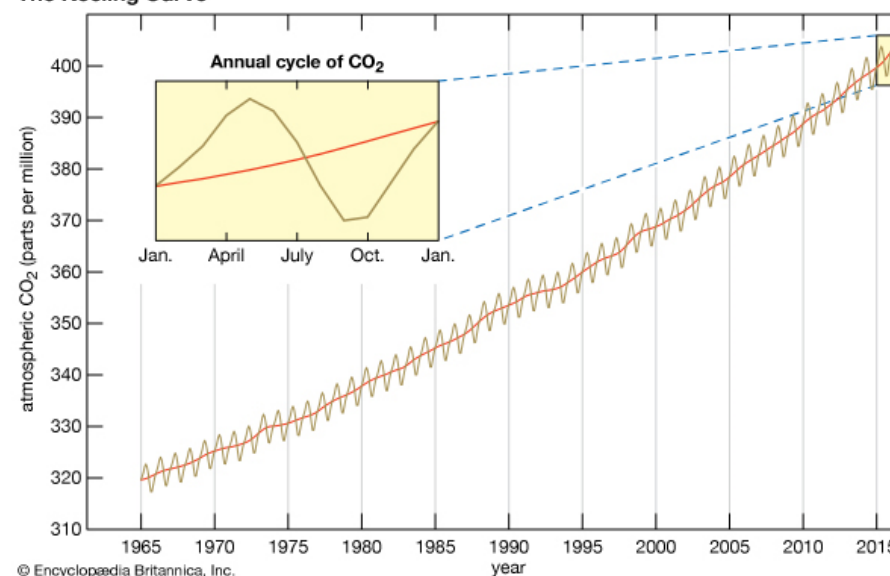
IPCC, 2014

## Balance global de carbono

- ✓ El secuestro global de carbono por los bosques es de 4,0 Pg C/año.
- ✓ Contribuye a mitigar la emisión por combustibles fósiles de 7,8 Pg C/año.

*Pan et al. (2011) Science 333: 988-993.*

The Keeling Curve



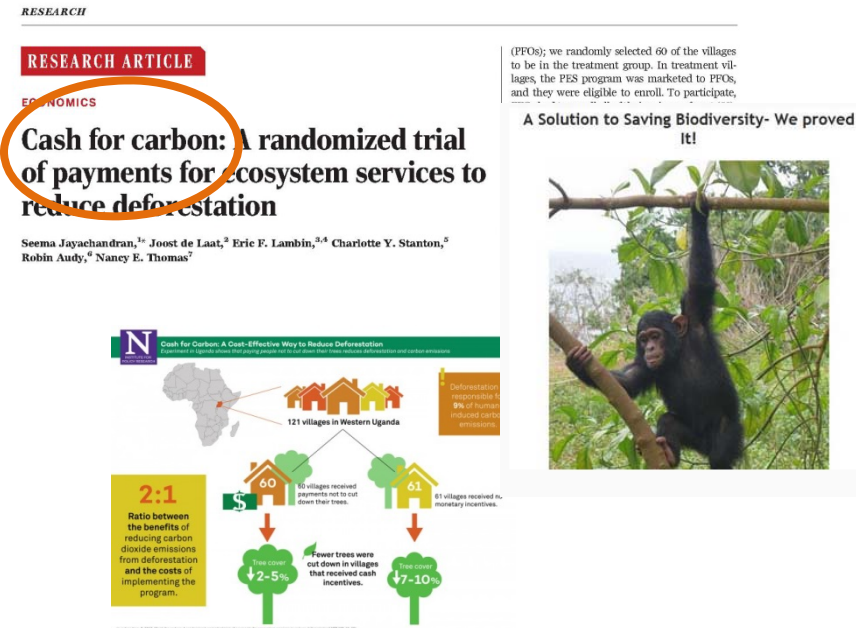


## Dinero a cambio de carbono

- ✓ El “pago por servicio ecosistémico” es una herramienta para mantener o aumentar el depósito de carbono en el bosque.
- ✓ La deforestación en los trópicos supone el 9% de la emisión global de CO<sub>2</sub>.
- ✓ Reducir la deforestación y la degradación de los bosques tropicales es una de las herramientas más efectivas para mitigar el cambio climático (iniciativa REDD+).

## Estudio de caso en Uganda

- ✓ Se estudiaron 121 pueblos; en la mitad se pagó 28\$/ha y año por no cortar árboles.
- ✓ Se estima que se ha evitado la pérdida de 183.5 Tm CO<sub>2</sub> por finca, con un coste de 0.46 \$/Tm CO<sub>2</sub>.
- ✓ El beneficio, calculado según el “coste social de carbono”, fue 1.11 \$/Tm CO<sub>2</sub>. Resulta por tanto 2.4 veces superior al coste.
- ✓ Además hay que añadir otros servicios como la biodiversidad (chimpancés) y el turismo de naturaleza, la protección de la cuenca y la calidad del agua.



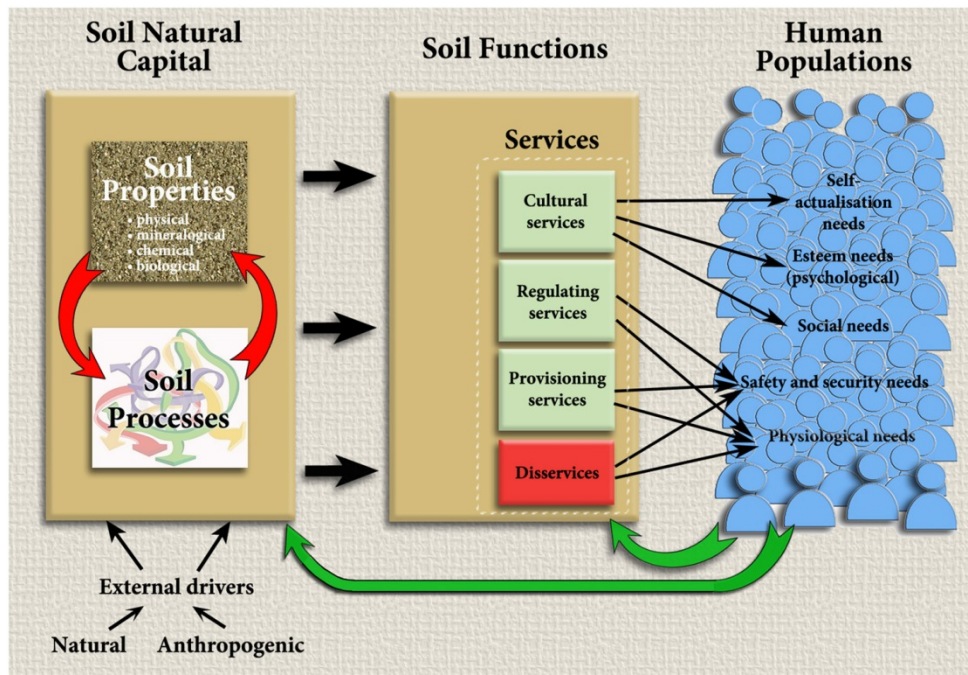
Jayachandran et al. (2017).  
*Science*, 357: 267-273.

### 3. Valoración de los suelos y sus servicios

Los suelos son importantes para el bienestar humano

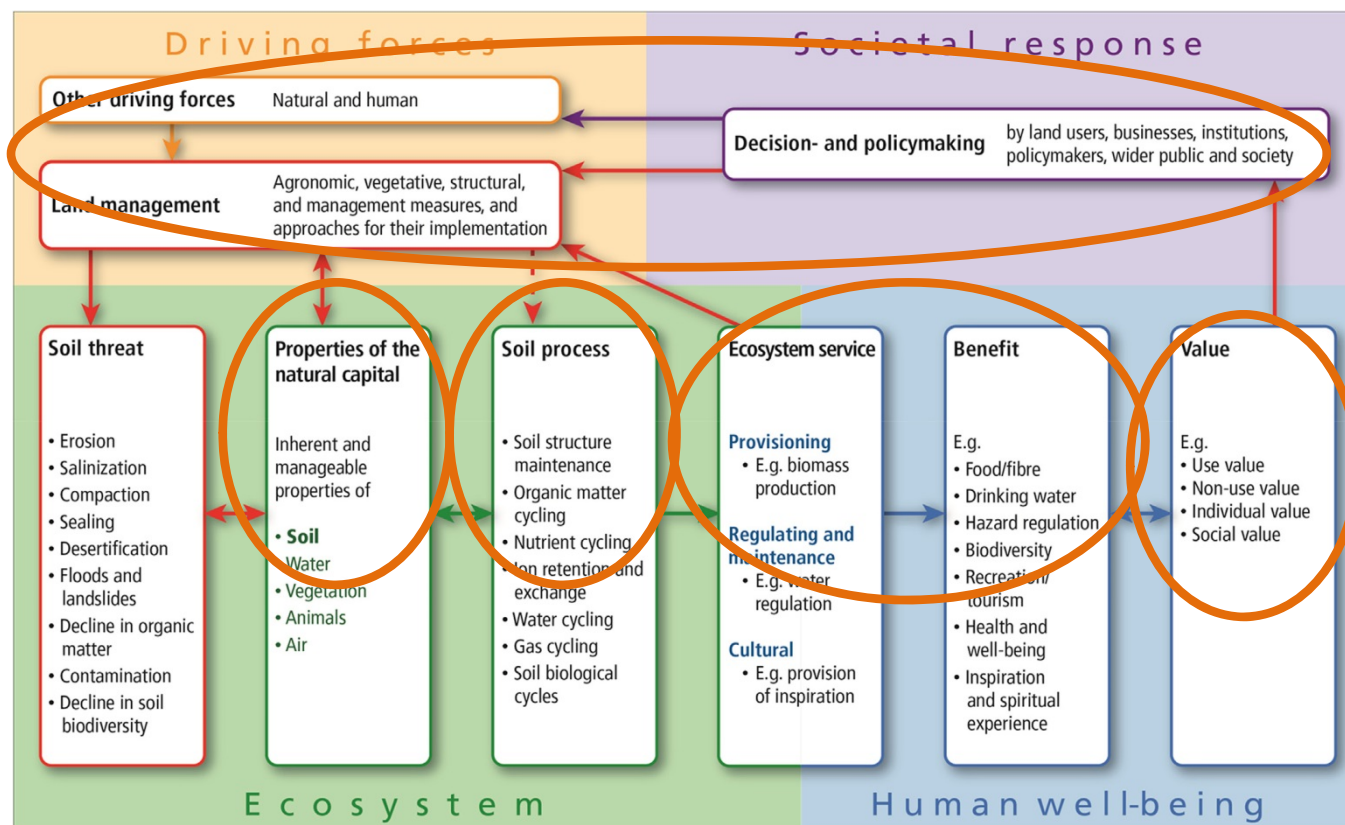


## Evaluación de suelos y servicios ecosistémicos



Baveye et al. (2016) *Frontiers in Environmental Science*, vol 4, Article 41.

## Marco conceptual RECARE para suelos y servicios ecosistémicos



- ✓ Las propiedades pueden ser inherentes o manejables.
- ✓ Los procesos del suelo representan la capacidad del ecosistema para proveer servicios.
- ✓ Los servicios ecosistémicos pueden ser utilizados para producir beneficios
- ✓ Los beneficios son valorados por los individuos y la sociedad. Pueden ser valores utilitarios o no.
- ✓ En base a esos valores, los individuos y las sociedades toman decisiones sobre la gestión del territorio.



## Proyecto europeo RECARE

<http://recare-project.eu/>

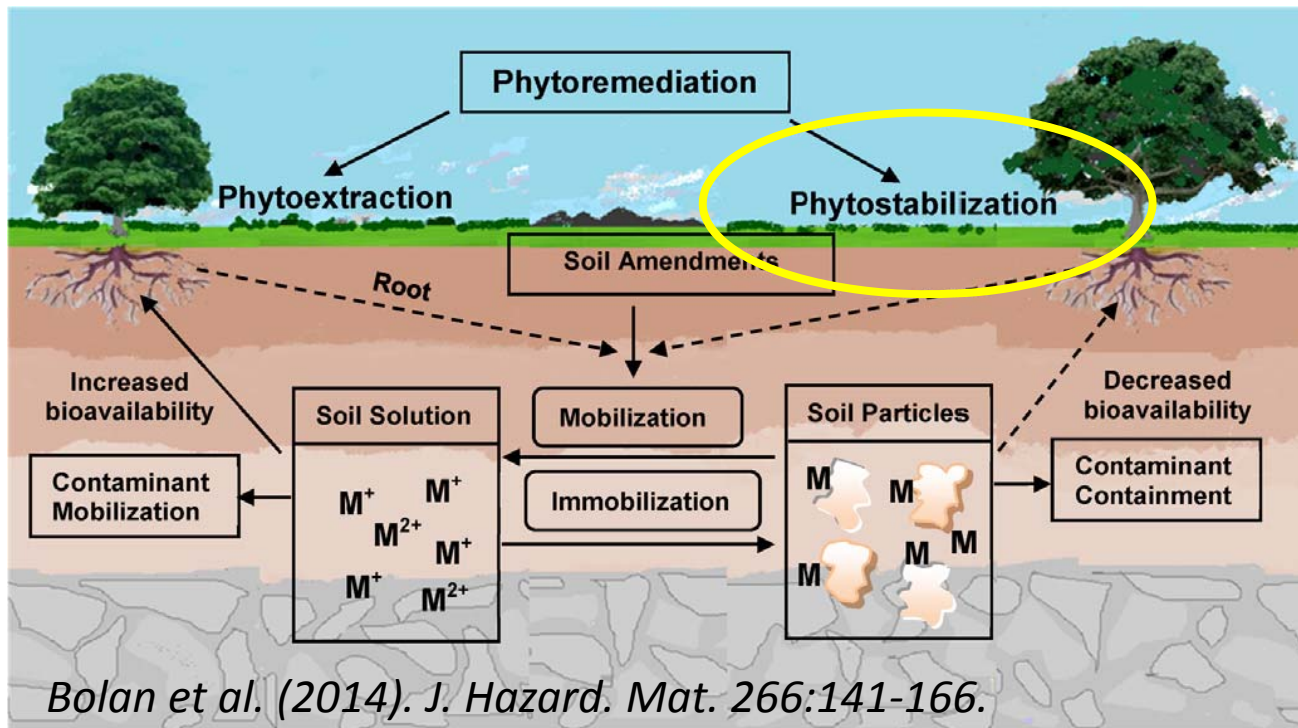
***Prevención y recuperación de suelos degradados en Europa mediante el cuidado de la tierra***

- El Corredor Verde del Guadiana ha sido seleccionado como uno de los 17 estudios de caso, por su relevancia a nivel europeo.
- La pérdida de materia orgánica es una de las 11 amenazas estudiadas.
- Objetivo: evaluar las medidas utilizadas para recuperar las funciones del suelo y la provisión de servicios ecosistémicos.





## Recuperación de suelos contaminados mediante plantaciones



**Fitoestabilización:** uso de las plantas y los microorganismos asociados para inmovilizar los contaminantes en el suelo, a través de la absorción y acumulación en raíces, adsorción o precipitación en la rizosfera, y estabilización física de los suelos (Bai et al. 2015).

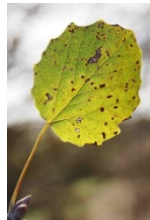
## Plantaciones y servicios ecosistémicos

Se han comparado los efectos sobre el suelo de 7 especies de árboles, plantadas en la misma zona (*common garden experiment*), replicadas 5 veces (total 35 árboles).



### CADUCIFOLIAS

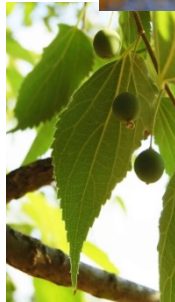
**Álamo blanco**  
*Populus alba*



**Fresno**  
*Fraxinus angustifolia*



**Almez**  
*Celtis australis*

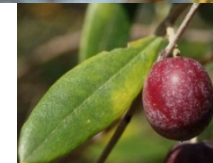


### PERENNIFOLIAS

**Encina**  
*Quercus ilex*



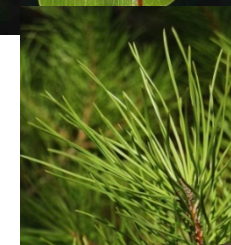
**Acebuche**  
*Olea europaea*



**Algarrobo**  
*Ceratonia siliqua*

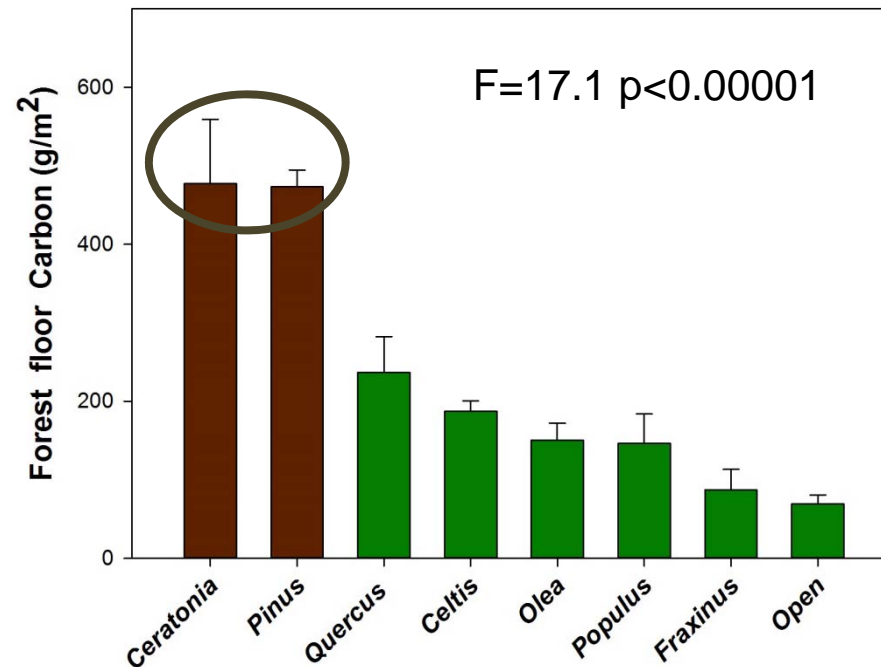


**Pino piñonero**  
*Pinus pinea*



## ¿Qué especies de árboles son mejores para el secuestro de carbono en el suelo?

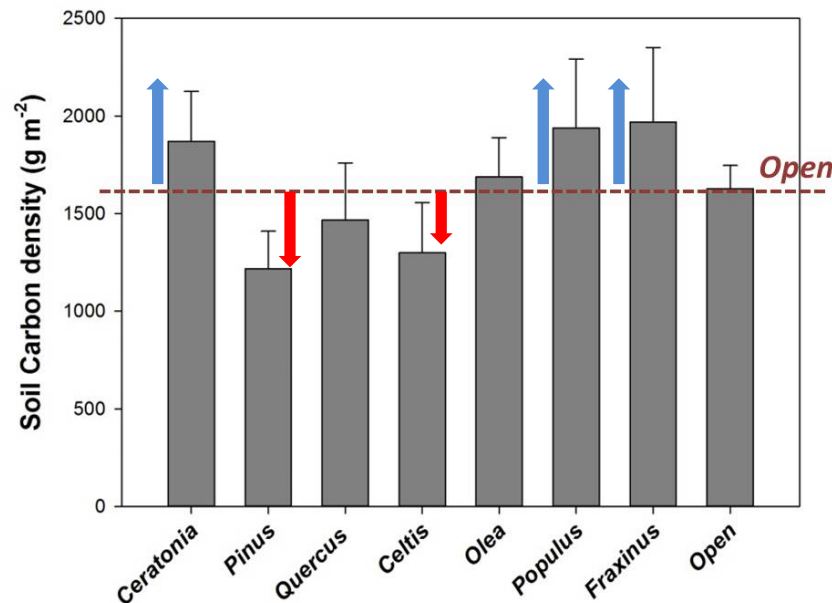
Se compara el aporte de carbono en la hojarasca.



Algarrobo y pino fueron los que acumularon mayor cantidad de carbono en la hojarasca.

## ¿Qué especies de árboles son mejores para el secuestro de carbono en el suelo?

Se compara la densidad de carbono en el suelo.



- ✓ No existe diferencia significativa entre especies de árbol (gran variabilidad).
- ✓ La tendencia es que el suelo bajo álamo, fresno y algarrobo tenga mayor densidad de Carbono.
- ✓ El Carbono del suelo tiende a ser menor bajo pino y almez.

¿Qué especies de árboles son mejores para el secuestro de carbono en el suelo?

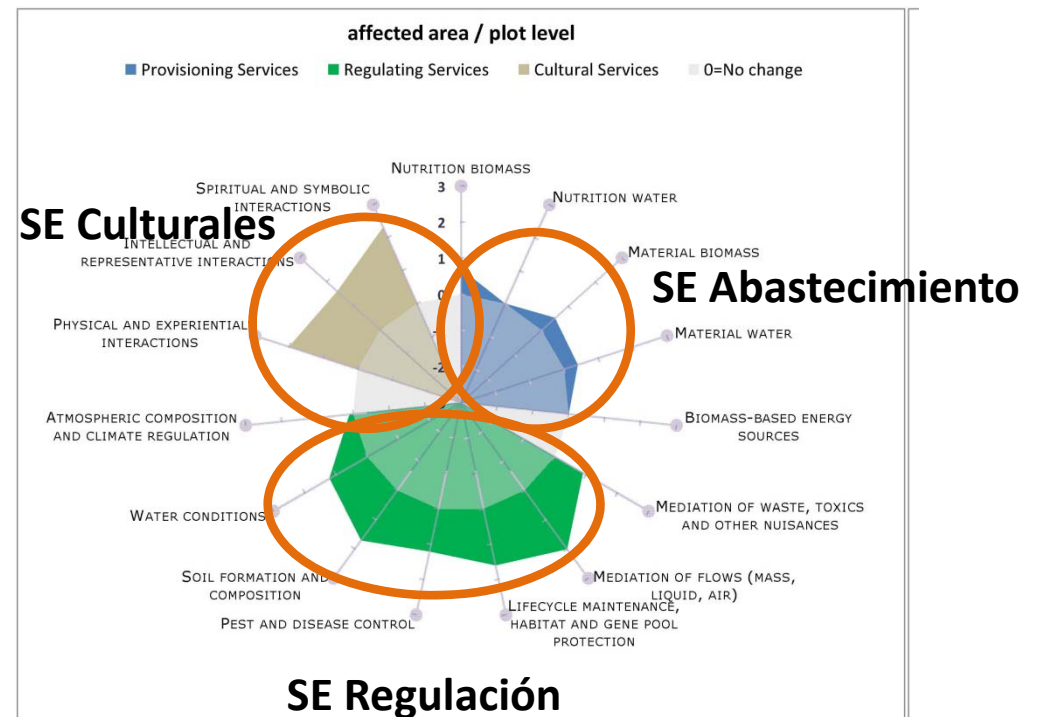
Puntuación de varias propiedades relacionadas con el servicio

	Secuestro de carbono en suelo			
Especie de árbol	Hojarasca (cantidad)	Hojarasca (C:N)	Carbono del suelo	Puntuación total
<i>Celtis australis</i>	2	5	1	8
<i>Ceratonia siliqua</i>	5	5	5	15
<i>Fraxinus angustifolia</i>	2	5	5	12
<i>Olea europaea</i>	2	5	3	10
<i>Quercus ilex</i>	2	5	3	10
<i>Pinus pinea</i>	5	2	1	8
<i>Populus alba</i>	2	5	5	12



## Evaluación del impacto de las plantaciones sobre los servicios ecosistémicos

- ✓ Paso 1. Cambios en las propiedades del suelo.
- ✓ Paso 2. Impacto de las propiedades del suelo sobre los servicios ecosistémicos (SE).
- ✓ Paso 3. Medidas e indicadores del impacto sobre los SE.
- ✓ Paso 4. Visualización de los cambios en los SE.



## Conclusiones

- ✓ Los suelos son importantes para el bienestar humano.
- ✓ Proveen de múltiples servicios ecosistémicos.
- ✓ El almacenamiento de carbono en el suelo, en forma de materia orgánica, contribuye a la mitigación del cambio climático.
- ✓ Es un importante servicio de regulación.



### Proyecto europeo RECARE

<http://www.recare-hub.eu/stakeholder-platforms/guadiamar-spain>

### Proyecto RESTECO (CGL2014-52858-R) Restauración y provisión de servicios ecosistémicos en suelos degradados

<http://www.resteco.es/>



RestECO